43° Convegno Internazionale
dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione
Congresso della Unione Italiana per il Disegno - Atti 2022

HBIM e ICT. Il BIM per la valorizzazione della Fortezza Pisana di Marciana

Tommaso Empler
Fabio Quici
Adriana Caldarone
Elena D'Angelo
Alexandra Fusinetti
Maria Laura Rossi

Abstract

Il contributo si inserisce nell'ambito della modellazione digitale per la rappresentazione, comunicazione e valorizzazione del patrimonio culturale costruito. In particolare, la ricerca pone l'attenzione sulla trasversalità dei modelli parametrici informati nell'ambito dell'*Information and Communication Tecnologies* (ICT). Il processo BIM, nato per il controllo delle procedure edilizie e di gestione dell'intero ciclo di vita dell'edificio (progettazione, realizzazione, manutenzione, dismissione) applicato al campo dell'*Heritage* comprende ulteriori aspetti, non previsti dal processo "tradizionale", legati principalmente alla conoscenza del bene (analisi documentali storiche, rilievo, indagini diagnostiche, etc), alla rappresentazione di uno stato di fatto storicizzato e al suo stato di conservazione, al progetto di manutenzione, recupero, restauro e valorizzazione. La procedura proposta declina il modello matematico HBIM, dedicato agli operatori del settore, nell'ambito della comunicazione e della disseminazione del bene culturale attraverso l'uso di applicativi multimediali (realtà virtuale e realtà aumentata) che sono invece rivolti al fruitore. La metodologia viene sperimentata analizzando come caso di studio una Fortezza Pisana dell'Isola d'Elba.

Parole chiave
HBIM, ICT, modellazione 3D, valorizzazione, conservazione

Copertina (Immagine degli autori).

doi.org/10.3280/oa-832-c149

Introduzione [1]

Nel contesto della valorizzazione dei beni culturali mediante le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, oggi si chiede di dare visibilità alle testimonianze frammentarie del passato conferendo ad esse una nuova integrità che tenga conto della loro consistenza fisica e semantica, risultante dal complesso dei processi di trasformazione e interpretazione che oggi meglio le rappresenta. Si tratta spesso di lavorare su testimonianze fisiche nel territorio per le quali oggi la componente comunicativa ha sostituito quella funzionale nel determinare il loro valore. Tale componente è rappresentata dall'insieme delle testimonianze fisiche, iconografiche e letterarie, sulla base delle quali oggi si lavora sia sul piano della protezione, della conservazione e del restauro, sia su quello della valorizzazione e della diffusione della conoscenza. La digitalizzazione del patrimonio culturale consente di costruire un ecosistema integrato capace, in particolare, di far dialogare dati visuali generati da diverse sorgenti. In questo ecosistema, i disegni, i rilievi, le mappe, le fotografie, i modelli appartenenti a diverse epoche e a diversi percorsi conoscitivi trovano una sintesi che è critica e operativa al tempo stesso, a seconda di come viene istruita prima e interrogata poi. In questo sistema di rappresentazioni multiple, le considerazioni di carattere storico-critico incontrano una prassi tecnico-operativa orientata a favorire sempre più la fruizione interattiva di risorse digitali culturali complesse da parte di un'utenza diversificata. Il modello informativo HBIM combinato con la Virtual Reality (BIM-enabled VR environment) appare in grado di costruire un linguaggio comune tra gli stakeholders coinvolti nel progetto conservativo del bene culturale ed un'utenza che invece può essere interessata ad accedere ai dati storici stratificati in un ambiente dinamico. La valorizzazione passa necessariamente per la trasformazione dei dati in un "segno grafico" di nuova generazione da intendersi come un linguaggio visivo in grado di aumentare l'esperienza degli utenti nei confronti di una realtà fisica che spesso cela le sue implicazioni più profonde.

Cenni storici [2]

La storia millenaria dell'Elba, con testimonianze risalenti al Paleolitico, ha visto il susseguirsi di numerose popolazioni che, soprattutto a partire dal periodo medievale in poi, hanno alternato la loro presenza sull'Isola, come il dominio delle Repubbliche Marinare di Pisa e Genova, chiamate dalla Chiesa a difendere l'isola dalle incursioni saracene prima e corsare poi. Gli scontri portano alla creazione di fortificazioni a protezione dei territori per resistere agli attacchi, quali la Fortezza Pisana di Marciana, oggetto di questo studio, e le fortificazioni delle chiese romaniche presenti sul territorio.

Fig. 01. Marciana in un disegno schematico di Antonio Sarri (circa 1730). Fonte: Archivio Boncompagni, Archivio Vaticano.

L'isola passa in mano agli spagnoli nel '600, ai francesi nell'800 e nel 1860 viene annessa al Regno d'Italia. La Fortezza Pisana, ubicata a 415 metri s.l.m. e collocata nella parte alta di Marciana, fuori dal centro abitato, domina dalla sua posizione il centro storico e l'ampia vallata. (Fig.01) La struttura originaria presenta la forma di un quadrilatero regolare, ed è presumibilmente realizzata dai pisani nel XII secolo. Viene rinforzata tra il 1450 ed il 1457 dalla famiglia Appiano, signori del Principato di Piombino, quando stabiliscono a Marciana il centro dei loro interessi sull'isola. [Camici 2009]
Le attuali caratteristiche architettoniche della fortezza, sono riconducibili alle architetture fortificate rinascimentali per la presenza di quattro bastioni a "freccia" negli angoli, e la struttura a "scarpa" di quest'ultimi a partire dal "cordone" perimetrale fino alla base (ad eccezione delle parti lineari del quadrilatero). (Fig.02) La datazione viene fatta risalire alle opere di potenziamento e restauro del 1560, come testimoniato dai registri dell'epoca (Archivio Storico di Marciana, 1560).

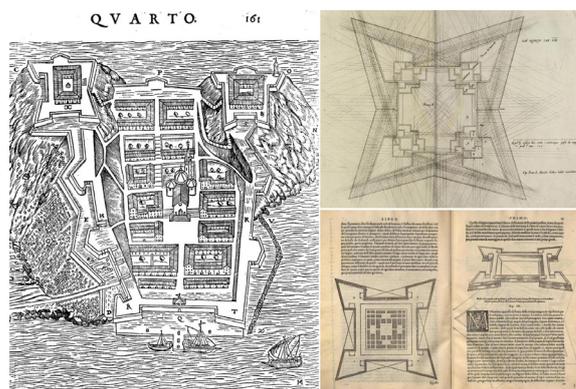
Fig. 02. Planimetria del Comune di Marciana del Catasto Leopoldino, 1841: facilmente riconoscibile in basso a sinistra la Fortezza Pisana. Fonte: https://livorno.ldpgis.it/catasto_leopoldino/pub/index.php

A causa dell'andamento orografico su cui è adagiata la fortezza, i bastioni posti a nord e ad ovest sono disposti in più in alto rispetto a quelli collocati ad est e sud, generando un andamento inclinato dei lati di collegamento. Il bastione collocato a sud aveva la funzione di deposito di esplosivi e munizioni, mentre nella parte sommitale del bastione ovest è presente una garitta dalla forma cilindrica (Fig.03). Nel lato occidentale della fortezza è collocata una fonte d'acqua, rifornita da una condotta sotterranea proveniente dal vicino Fosso della Giunca, che garantiva un approvvigionamento idrico in caso di assedio.

Ambito culturale e trasformazioni architettoniche [3]

L'impianto della Fortezza così come la conosciamo oggi risale al periodo in cui il Granducato di Toscana costruisce (a partire dall'anno 1548) Cosmopoli, l'attuale Portoferraio [Fiaschi 2019], per volere di Cosimo I de' Medici, il quale mette in atto, a scala territoriale, un vasto sistema di presìdi militari dove l'isola, per la sua posizione centrale nel mar Tirreno, riveste un ruolo strategico.

Fig. 03. 1. veduta nord-est della fortezza in cui è possibile notare il dislivello di quota tra i due bastioni e il profilo inclinato del muro di collegamento; 2. vista dall'alto della garitta cilindrica sul bastione ovest; 3. veduta sud-ovest in cui è possibile notare la continuità del cordone con sviluppo a scarpa per il bastione e sviluppo lineare nel muro di collegamento (foto degli autori).

Fig. 04. A sx: Bonaiuto Lorini, Delle Fortificazioni libri cinque, Venezia (1597). A pagina 161 viene idealizzata la realizzazione di Cosmopoli; A dx: Francesco De Marchi, "Della architettura militare", (1599) [De Marchi, 1599] e Pietro Cattaneo, "I quattro primi libri di architettura", Venezia (1554): angoli di tiro di una fortezza quadrata con "speroni a freccia" [Cattaneo, 1544].

La restante parte dell'Isola rimane sotto alla famiglia degli Appiano, Signori di Piombino, alleati degli Aragonesi. Il progetto di Cosmoli è di Giovanni Camerini, ma vede la partecipazione dei migliori architetti medicei quali Serbelloni, Buontalenti, Belluzzi, Lorini e Puccini. Gli ultimi tre, oltre alla realizzazione di importanti opere di architettura militare, forniscono un importante contributo sulla realizzazione delle architetture militari con la stesura di alcuni trattati, in particolare: Giovan Battista Belluzzi, con il manoscritto "Tratato dele Fortificationi di Terra", ca. 1544 [Belluzz 1544]; Bonaiuto Lorini con *Delle fortificationi, libri cinque*, Venezia 1597 [Lorini 1597]; Bernardo Puccini edita il "Trattato di uno strumento per levare di pianta e misurare le altezze" nel 1570-1571 [Puccini 1720] (Fig.04). La presenza di Puccini e Lorini è importante per indicare il movimento culturale/architettonico che pervade l'Elba nel tempo. Infatti, l'ammodernamento della fortezza di Marciana nel 1560 è coevo alla realizzazione dei Forti Falcone e Stella a Cosmopoli, iniziata un decennio prima. Nell'isola i confini sono più amministrativi che reali ed il movimento delle persone e degli operai tra Cosmopoli e le altre località non presenta veri ostacoli fisici. A Marciana gli Appiano stabiliscono la loro residenza sull'isola, restaurano e potenziano la fortezza pisana (eretta nel XII secolo) con dei "bastioni a saetta" posti agli angoli di un quadrilatero, come viene riportato dai registri dell'epoca: "in tutti i luoghi dove si lavora per le fortezze che si fanno, le donne vadano tutte senza differenza a portare acqua e sassi et tutto quanto si bisogna" (Archivio Storico di Marciana, 1560).

Considerata la facilità con cui le informazioni e le idee circolavano sull'isola e in mancanza di fonti documentarie certe che possano testimoniare la paternità delle trasformazioni degli edifici esistenti, si può ipotizzare che gli architetti o i capomastri autori delle modifiche e del potenziamento abbiano attinto informazioni direttamente a Cosmopoli, o che le stesse figure professionali si siano spostate all'interno dell'isola operando sia sul lato dei Medici che su quello degli Appiano. Gli speroni della Fortezza (simili a quanto riportato nel trattato del Lupicini, 1582) sembrano essere stati presi a riferimento anche per la realizzazione degli speroni nella chiesa dei Santi Pietro e Paolo (adesso San Niccolò) a San Piero, San Niccolò a Poggio, per la fortificazione di Sant'Ilario (a quel tempo tutti sotto la giurisdizione di Marciana) e la chiesa di San Giacomo e Quirico a Rio.

Le operazioni di conoscenza: il rilievo [4]

In un processo volto alla tutela e alla valorizzazione dei beni culturali, il rilievo – inteso come conoscenza geometrica e morfologica, comprensivo delle informazioni relative alle caratteristiche dei materiali e delle tecniche costruttive impiegate – rimane un passaggio essenziale. La Fortezza, sia per dimensioni che per forma, ha richiesto l'utilizzo di molteplici tecniche di acquisizione dati, successivamente elaborati in un unico ambiente digitale per ottenere un modello discreto di elevata qualità metrica e materica.
La campagna di rilievo TLS [5] è stata effettuata a più riprese a causa dell'inaccessibilità di al-

cuni locali: in una prima fase sono stati acquisiti i confini esterni e interni; successivamente sono stati rilevati gli ambienti coperti (bastioni nord e ovest). L'allineamento delle scansioni singole è avvenuto in modalità automatica grazie all'utilizzo di target sferici e a scacchiera; i gruppi delle due giornate sono stati uniti manualmente tramite individuazione di punti omologhi [6] (Fig.05).

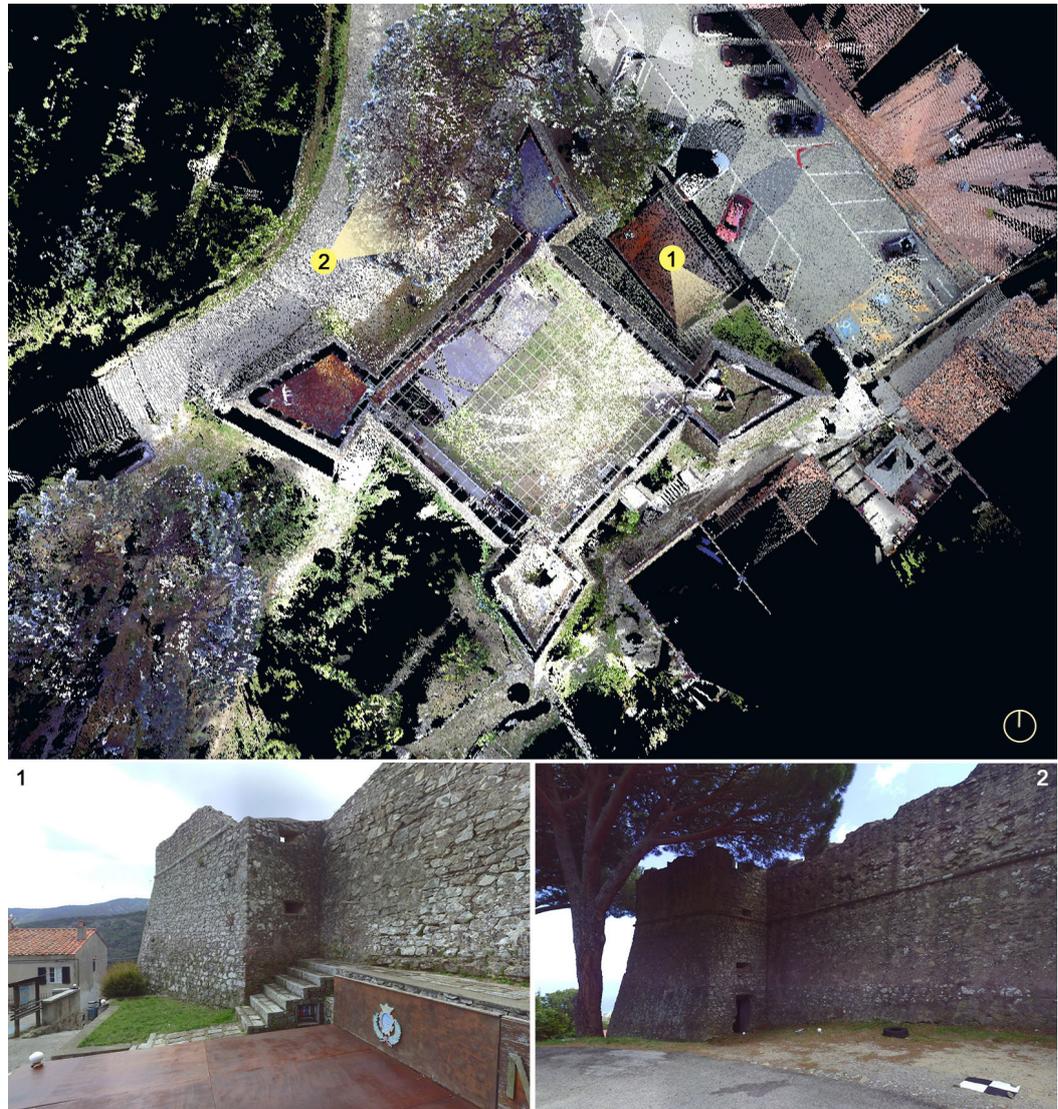



Fig. 05. Vista dell'alto del modello numerico puntiforme da acquisizione laser scanner; 1-2. vedute dai punti di presa in cui è possibile individuare i target sferici e quelli bidimensionali (immagine e foto degli autori).

La fortezza è inserita in un contesto territoriale particolarmente ostico, con tratti non percorribili e caratterizzato da forti pendenze che hanno determinato i grandi salti di quota tra i bastioni nord-ovest e sud-est. Per sopperire alla mancanza di informazioni e ottenere anche la geometria sommitale delle strutture, le acquisizioni terrestri sono state integrate e arricchite con immagini aeree provenienti da sistemi UAV [7], catturate con sensore rivolto sia in direzione nadirale che a 45°. Le coordinate dei target bidimensionali acquisite con TLS sono state fondamentali per scalare il modello fotogrammetrico e permettere una accurata e automatica sovrapposizione tra nuvola di punti strutturata (laser scanner) e quella non strutturata (*image based*) (Fig. 06).
L'integrazione dei dati da scansione laser 3D con i modelli fotogrammetrici ha restituito il calco superficiale del bene, inserito nel suo contesto naturale [Rodriguez Navarro 2012, Bolognesi et al. 2014, Federman et al. 2017]. A partire da questo modello numerico com-

plessivo è stato possibile costruire un modello matematico in ambiente HBIM (vedi paragrafo successivo) che, in qualità di database eterogeneo, ha tenuto conto anche dello stato di conservazione/decadimento e delle informazioni legate all'apparato documentale. Per un modello HBIM, in quanto rappresentazione ideale di uno stato di fatto fortemente storicizzato, la nuvola di punti integrata TLS/UAV è uno strumento fondamentale di verifica del modello stesso e – tramite il calcolo della deviazione – ne dichiara l'accuratezza.

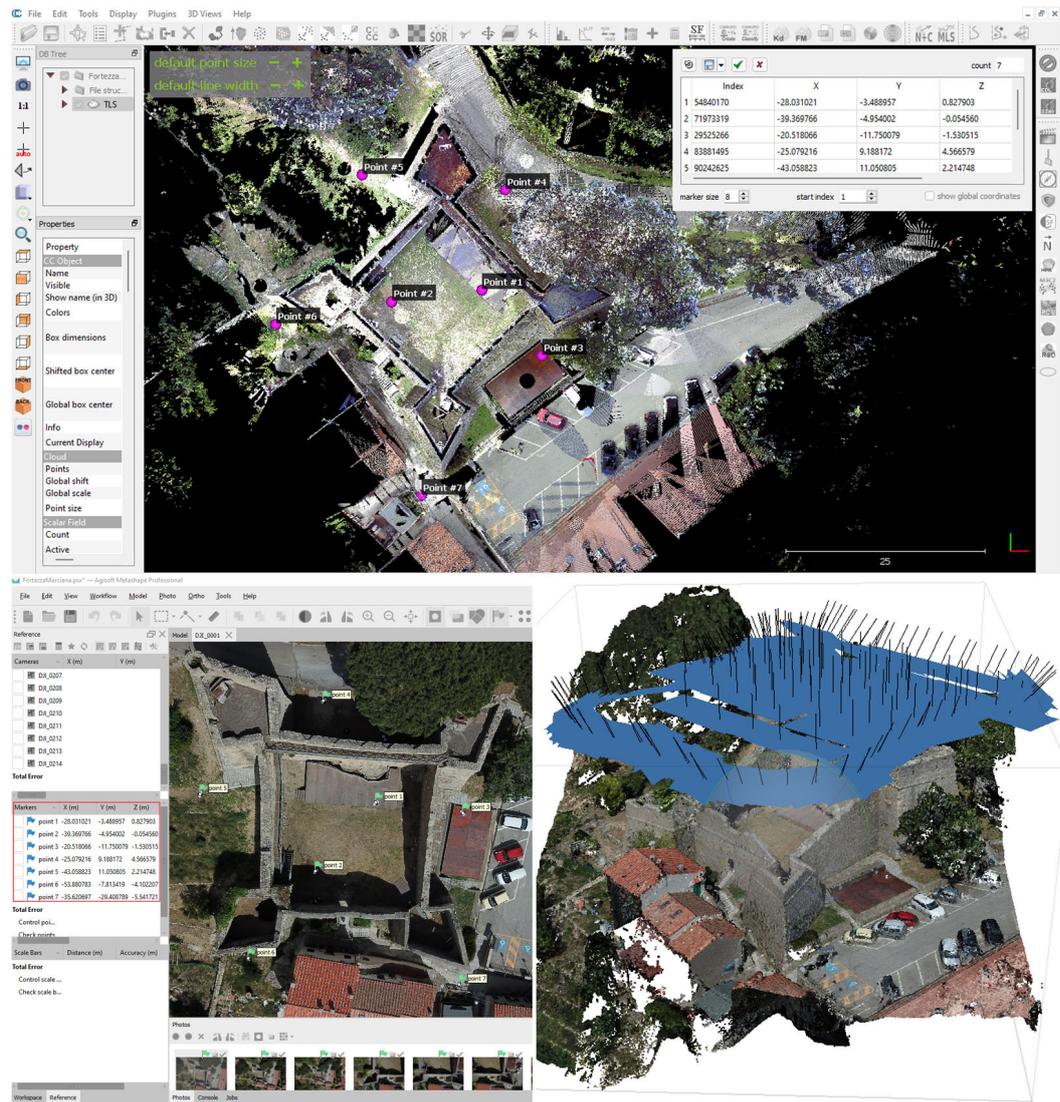



Fig. 06. In alto: estrapolazione delle coordinate dei target bidimensionali (Cloud Compare); in basso, processo di creazione della "dense cloud" da fotogrammetria (Agisoft Metashape Professional) scalata in base alle medesime coordinate (immagini degli autori).

Workflow per un processo interoperabile [8]

Nonostante, sia nella pratica professionale, sia nel dibattito scientifico, il valore dei processi HBIM sia riconosciuto nei processi di conservazione, rimangono tuttora aperti ambiti di ricerca che ne indaghino le capacità comunicative strettamente collegate ai linguaggi visivi ed alle ICT.
L'approccio seguito prende in considerazioni diverse fasi. Una prima di conoscenza, nella quale si indagano i costrutti geometrici che hanno sotteso alla realizzazione della Fortezza attraverso l'individuazione di assi di simmetria e griglie ed attraverso un'analisi dimensionale, al fine di confermare quanto rivelato dalla ricerca storica e l'evoluzione morfologica del manufatto

(struttura originaria a forma di quadrilatero regolare di 6 x 6 pertiche o canne agrimensorie pisane equivalente a 30 x 30 braccia pisane, ovvero 17,5 x 17,5 metri c.a.).
Una seconda fase di scomposizione e ricomposizione dell'architettura per fasi temporali, nella quale, anche grazie allo studio della trattatistica sopra citata, si individuano tutti gli elementi compositivi comunemente utilizzati nelle fortezze (bastioni, scarpa, cordone, garitta, feritoie) analizzandone altresì la morfologia, al fine di costituire famiglie parametriche con riconoscibilità stilistica e geometrica.
In una terza fase si procede con la creazione di materiali (paramenti murari, malte, etc) attraverso la definizione di unità stratigrafiche murarie coerenti con la campionatura analizzata, con la documentazione attestante la geomorfologia del luogo ed i materiali impiegati negli edifici storici dell'Elba. Si definiscono quindi le informazioni legate all'analisi del degrado, rappresentato tramite componenti geometriche, e le relative necessarie operazioni per la conservazione del bene.
Il modello diviene database eterogeneo e il processo risulta effettivamente interoperabile grazie a rimandi automatici a dati grafici e alfanumerici esterni al BIM modeler, catalogati all'interno di piattaforme digitali che non per forza necessitano di uno spazio tridimensionale di gestione (immagini, risultati di analisi dei materiali, documentazione storica, fogli di calcolo, etc.). Si innesca, grazie a tutta un serie di plug-in in rapido sviluppo, un approccio open BIM che si svincola dal formato unico IFC. Questo rapporto biunivoco tra geometria e informazione facilita gli operatori del settore nella catalogazione e nello scambio di dati ma, soprattutto, apre nuove strade alla disseminazione dei risultati ottenuti (Fig. 07).

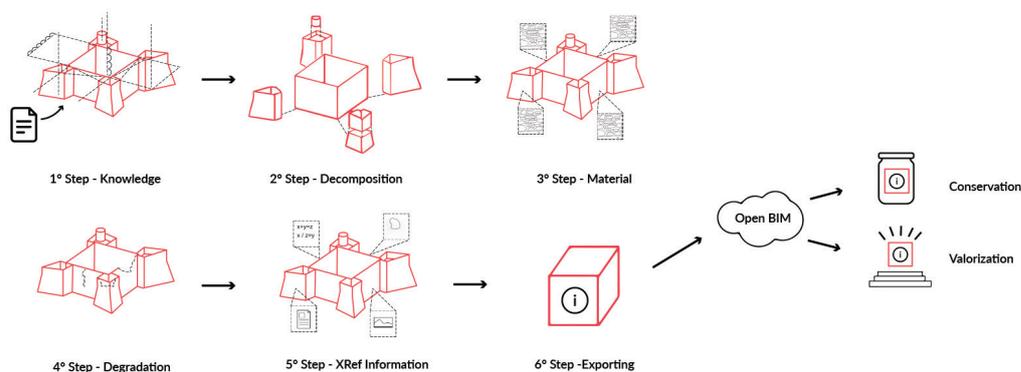



Fig. 07. Worflow della procedura (immagine degli autori).

Declinazioni progettuali: conservazione e valorizzazione [9]

Il modello HBIM ottenuto dal processo di modellazione e informazione sopradescritto ha avuto numerosi esiti in diversi ambiti. Uno degli output riportati in questa sede colleziona gli interventi di tutela e conservazione della Fortezza garantendo la compatibilità con i materiali e il rispetto dei valori storici ed architettonici delle strutture. Questo modello è diretta conseguenza progettuale di un corrispettivo modello rappresentativo dello stato in cui verte il bene architettonico. Grazie all'analisi del degrado condotta e alla relativa trasformazione in entità geometrica è stato possibile ottenere, in modalità praticamente automatica, abachi contenenti quantità di paramento murario soggetto a impoverimento o processo degenerativo, e la relativa descrizione. Ad un siffatto modello, riportante lo stato dei luoghi, ha corrisposto, in una fase successiva, un modello similare che associa ad ogni forma di degrado il relativo intervento e prevede, ovviamente, anche tutta una serie di azioni manutentive e di messa a norma (come, ad esempio l'introduzione di sistemi di abbattimento delle barriere architettoniche) che ne garantiscano la fruibilità. (Fig.08)

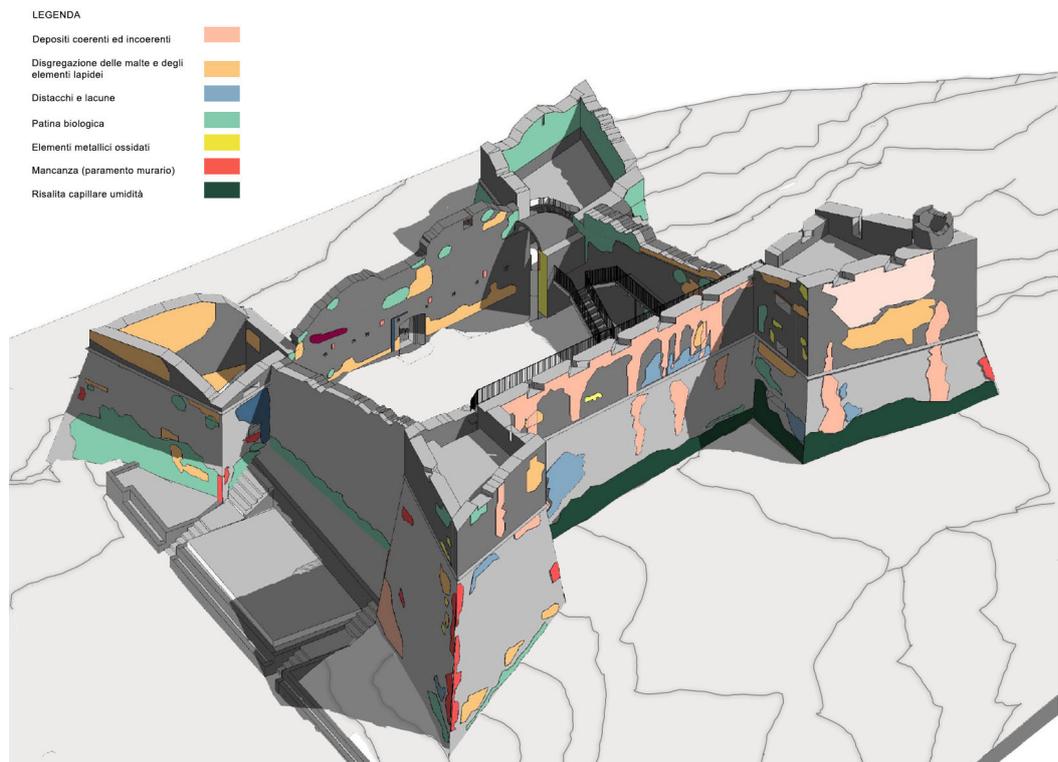



Fig. 08. Interventi di conservazione previsti, visibili all'interno del modello HBIM (immagine di S. D'Ippolito, L. Gianzi, M. Monaco).

Inoltre, un modello concepito per raccogliere informazioni così diverse tra loro, a partire da quelle documentali legate alla storia dell'Isola e alle fasi evolutive della Fortezza, a quelle geometriche e metriche, fino a quelle materiche, consente l'organizzazione di un efficace percorso di disseminazione che sfocia in diverse direzioni, tra cui la Realtà Virtuale (VR) e la Realtà Aumentata (AR). Le geometrie - intendendo sia il modello discreto proveniente da rilievo che il modello matematico - con l'applicazione delle relative texture, possono essere importate all'interno di applicativi *game engine* che ne consentano la visualizzazione in modalità immersiva. Mediante l'utilizzo di un visore *head mount*, il visitatore esplora i diversi periodi storici della Fortezza in prima persona, interagendo con le varie parti ed ottenendo informazioni di diversa natura (Fig. 09). Inoltre, le stesse amministrazioni pubbliche all'interno dei propri siti istituzionali e di promozione del territorio, possono servirsi di siffatti modelli attraverso l'utilizzo di motori grafici (ad es. Unity), che consente di gestire visualizzazioni architettoniche e animazioni 3D in tempo reale.

Conclusioni

In un processo che comprenda valorizzazione e conservazione del costruito storico risulta di fondamentale importanza la gestione delle informazioni e la collaborazione di figure specialistiche appartenenti a diversi ambiti disciplinari. Tale complessità, che si materializza già nelle fasi preliminari di conoscenza e rilievo del bene, trova spazio in una sistematizzazione delle informazioni attraverso un processo HBIM. Il modello si pone in maniera collaborativa e aperta con altri applicativi sia di modellazione che di catalogazione, attuando un processo virtuoso di semplificazione di condivisione delle informazioni stesse. In questo modo, il modello/database ha la possibilità di declinarsi in vari ambiti e con vari scopi, configurandosi non soltanto come raccoglitore di votato alla documentazione, ma diviene a tutti gli effetti uno strumento a servizio del progetto, mostrando così la sua duplice valenza informativa e comunicativa e diventando la base per una sensibilizzazione di un pubblico non specialistico.

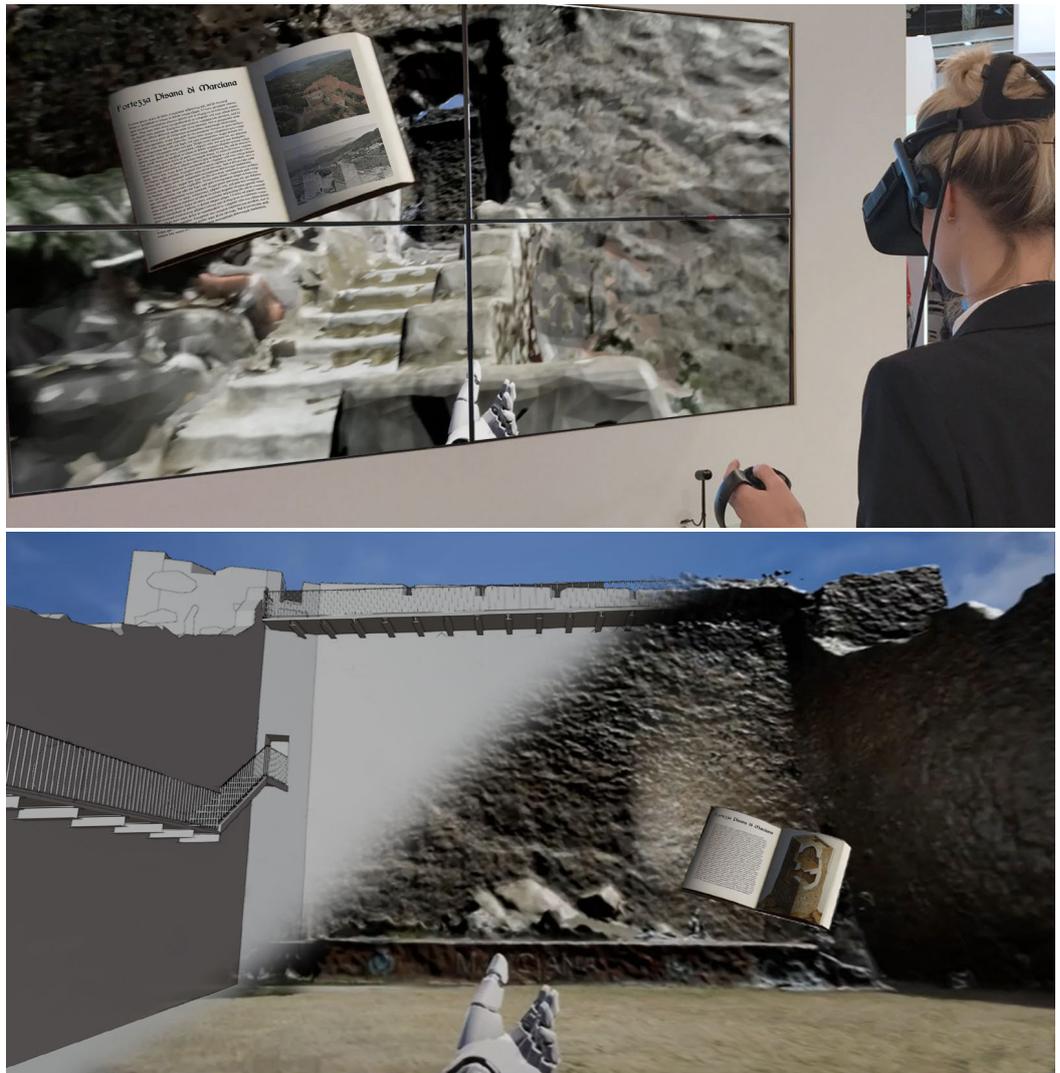



Fig. 09. In alto: esplorazione immersiva in modalità VR (su applicativo Unrial Engine); in basso: esplorazione dei modelli (matematico e discreto) in tempo reale (immagini degli autori).

Note

[1] Il presente capitolo è stato scritto da Fabio Quici.

[2] Il presente capitolo è stato scritto da Alexandra Fusinetti

[3] Il presente capitolo è stato scritto da Tommaso Empler.

[4] Il presente capitolo è stato scritto d Maria Laura Rossi.

[5] Terrestrial Laser Scanner FAROX130 in dotazione al CRITEVAT - Centro reatino di Ricerche in Ingegneria per la Tutela E la Valorizzazione dell'Ambiente e del Territorio

[6] La registrazione delle scansioni singole con processo automatico e manuale è stata condotta all'interno del software SCENE.

[7] Unmanned Aerial Vehicle, tecnologia comunemente nota come "drone".

[8] Il presenta capitolo è stato scritto da Adriana Caldarone

[9] Il presente capitolo è stato scritto da Elena D'Angelo (conservazione) e Tommaso Empler (valorizzazione)

Riferimenti Bibliografici

Belluzzi, G. B. (1544). *Tratato dele Fortificationi di Terra.* Firenze: Biblioteca Riccardiana.

Bolognesi, M., et al. (2014). *Accuracy of cultural Heritage 3D models by RPAS and Terrestrial Photogrammetry*. In *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 2014, pp.113-119.

Camici, M. (2009). *L' Elba Tra Medioevo E Rinascimento. Viaggio Alla Scoperta di un'isola*. Roma: Ginevra Bentivoglio editorial.

Cattaneo, P (1554). *I quattro primi libri di architettura di Pietro Cataneo senese.* Venezia: In casa de' figliuoli di Aldo. <https://archive.org/details/iquattroprimilib00cata/page/n3/mode/2up> (consultato il 12 marzo 2022).

De Marchi, F. (1599). *Della Architettura militare del capitano Francesco de' Marchi bolognese, gentil'huomo romano, libri tre : nelli quali si descrivono li veri modi, del fortificare, che si usa a' tempi moderni ; con un breve, et utile trattato, nel quale si dimostrano li modi del fabricar l'artigliaria, et la prattica di adoperarla, da quelli che hanno carico di essa. Opera novamente data in luce*. Brescia: appresso Comino Presegni ad instanza di Gasparo dall'Oglio.

Empler, T. (2018). *ICT per il Cultural Heritage. Rappresentare, Comunicare, Divulgare*. Roma: Dei – Tipografia del Genio Civile.

Federmann, A., et al. (2017). UAV photogrammetric workflows: a best practice guideline. In *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 2017, pp.237-244.

Fiaschi, F. (2019). *Isola d'Elba. Un manoscritto del XVIII secolo*. Portoferraio: Persephone Edizioni.

Lorini, B. (1597). *Delle fortificationi libri cinque. Ne' quali si mostra con le piu facili regole la scienza con la pratica, di fortificare le città, e altri luoghi sopra diversi siti. Con tutti gli avvertimenti, che per intelligenza di tal materia possono occorrere*. Venezia: Francesco Rampazetto.

Lupicini, A. (ed. 1978). *Sull'attività mantovana di Antonio Lupicini ingegnere militare ed idraulico.* Milano: Vita e Pensiero – Pubblicazioni dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Puccini, B. (1720). *Trattato di uno strumento per levare di pianta e misurare le altezze*. Bologna: Per li Rossi e C. sotto le scuole alla rosa.

Rodriguez Navarro, P. (2012). Integrated survey techinques for the study and the restoration of cultural heritage: some case studies in Enna (Italy). In Gambardella C. (a cura di) *IX International Forum "Le Vie dei Mercanti": S.A.V.E. Heritage Safeguard of Architectural, Visual, Enviromental Heritage*. Napoli: La Scuola di Pitagora, 2011, pp.1-10.

SIT della provincia di Livorno. Catasto Leopoldino: <https://livorno.ldpgis.it/catasto_leopoldino/pub/index.php> (consultato il 6 marzo 2022).

Autori
Tommaso Empler, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
tommaso.empler@uniroma1.it
Fabio Quici, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
fabio.quici@uniroma1.it
Adriana Caldarone, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
adriana.caldarone@uniroma1.it
Elena D'Angelo, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
elena.dangelo@uniroma1.it
Alexandra Fusinetti, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
alexandra.fusinetti@uniroma1.it
Maria Laura Rossi. Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
marialaura.rossi@uniroma1.it

Per citare questo capitolo: Empler Tommaso, Quici Fabio, Caldarone Adriana, D'Angelo Elena, Fusinetti Alexandra, Rossi Maria Laura (2022). HBIM e ICT. Il BIM per la valorizzazione della Fortezza Pisana di Marciana/HBIM and ICT. BIM for valorize Pisan Fortress of Marciana. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2374-2393.

 Isbn 9788835141938

HBIM and ICT. BIM for valorize Pisan Fortress of Marciana

Tommaso Empler
Fabio Quici
Adriana Caldarone
Elena D'Angelo
Alexandra Fusinetti
Maria Laura Rossi

Abstract

This contribution is part of the precinct of digital modeling for the representation, communication, and enhancement of the built cultural heritage. In particular, the research focuses on the informed parametric models transversality in the Information and Communication Technologies (ICT) context. A BIM process, created to control construction procedures and management of the building's entire life cycle (design, construction, maintenance, decommissioning) includes further aspects when applied to the Heritage field, not foreseen by the "traditional" process, which are mainly related to the knowledge of the asset (historical documental analysis, survey, diagnostic investigations, etc.), to the representation of its historicized and conservation state, to the maintenance, recovery, restoration and valorization project. The proposed procedure declines the HBIM mathematical model, dedicated to sector operators, in the context of communication and dissemination of cultural heritage through the use of multimedia applications (virtual reality and augmented reality) which are instead aimed at the user. The methodology is tested by analyzing a Pisan Fortress on the Island of Elba as a case study.

Keywords
HBIM, ICT, 3D modeling, valorization, preservation

Cover (Picture by authors).

doi.org/10.3280/oa-832-c149

Introduction [1]

In the context of the valorization of cultural heritage through information and communication technologies, today it is asked to give visibility to the fragmentary testimonies of the past, bestowing them a new integrity that takes into account their physical and semantic consistency, resulting from a system of transformation and interpretation processes that best represents them today. It is often a matter of working on physical testimonies in territory for which today the communicative component has replaced the functional one in determining their value. This component is represented by the set of physical, iconographic and literary testimonies, on the basis of which today we work both on the level of protection, conservation and restoration, and on that of the valorization and dissemination of knowledge.
Digitization of cultural heritage makes it possible to build an integrated ecosystem capable, in particular, of creating a dialogue between visual data generated by different sources. In this ecosystem, drawings, reliefs, maps, photographs, models belonging to different eras and different cognitive paths find a synthesis that is critical and operative at the same time, depending on how it is first instructed and then questioned. In this system of multiple representations, historical-critical considerations meet a technical-operational practice aimed at increasingly favoring the interactive use of complex cultural digital resources by diversified users. The HBIM information model combined with Virtual Reality (BIM-enabled VR environment) appears to be able to build a common language between the stakeholders involved in the conservation project of the cultural heritage and a user who, on the other hand, may be interested in accessing historical data stratified in a dynamic environment. Valorization necessarily passes through the transformation of the data into a new generation "graphic sign" to be understood as a visual language capable of increasing the user experience towards a physical reality that often conceals its deepest implications.

Historical background [2]

The millenary history of Elba, with evidence dating back to the Paleolithic, has seen the succession of numerous populations who, especially from the medieval period onwards, have alternated their presence on the island, such as the dominion of the Maritime Republics of Pisa and Genoa, called by the Church to defend the island from Saracen raids first and then to Pirate ones. The clashes lead to the creation of fortifications to protect territories in order to resist attacks, such as the Pisan Fortress of Marciana, subject of this study, and fortifications of the Romanesque churches in the territory.

Fig. 01. Schematic drawing of Marciana by Antonio Sarri (about 1730). Source: Boncompagni Archives, Vatican Archives.

The island passed into Spaniards command in the 1600s, French command in the 1800s and in 1860 it was annexed to the Kingdom of Italy. The Pisan Fortress, located at 415 meters above sea level and located in the upper part of Marciana, outside the town, from its position it dominates the historic center and the wide valley. (Fig.01) The original structure has the shape of a regular quadrilateral, presumably built by the Pisans in the 12th century. It was reinforced between 1450 and 1457 by the Appiano family, lords of the Principality of Piombino, when they established the center of their interests on the island in Marciana [Camici 2009]. The current architectural features of the fortress can be traced back to the fortified Renaissance architecture, both due to the presence of four "arrow" bastions in the corners, and the "shoe" structure of the latter starting from the perimeter "cordon" to the base (except for the linear parts of the quadrilateral). (Fig.02) The dating is traced back to the strengthening and restoration works of 1560, as evidenced by the registers of the time (Marciana Historical Archive, 1560).

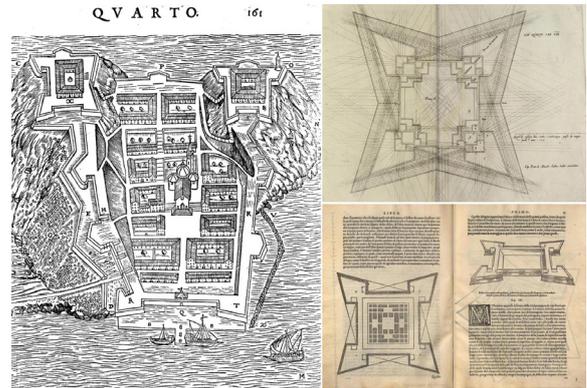
Fig. 02. Plan of Marciana city in "Catasto Leopoldino", 1841: the Pisan Fortress is easily recognizable in lower left corner. Source:https://livorno.ldpgis.it/catasto_leopoldino/pub/index.php

Due to the orographic course on which the fortress lies, the bastions located to the north and west are arranged higher than those located to the east and south, generating an inclined course of the connecting sides. The south bastion has a function of depot for explosives and ammunition, while at the top of the west bastion there is a cylindrical sentry box. (Fig.03) On the western side of the fortress there is a water source, supplied by an underground pipeline coming from the nearby Fosso della Giunca, which guaranteed a water supply in the event of a siege.

Cultural sphere and architectural transformations [3]

The layout of the Fortress as we know it today dates back to a period in which the Grand Duchy of Tuscany built the city of Cosmopoli (starting from the year 1548), known today as Portoferraio [Fiaschi 2019], at the behest of Cosimo I de 'Medici, who implemented, on a territorial scale, a vast system of military garrisons where the island, due to its central position in the Tyrrhenian Sea, plays a strategic role.

Fig.03. 1. North-east view of the fortress. Notice the difference in height between two bastions and the sloped contour of the connecting that connect them; 2. top view of the watchtower on the west bastion; 3. South-west. south-west view. Notice the scarp shape of cord in the bastion and linear shape in the wall (pictures by the authors).

Fig. 04. Left: Bonaiuto Lorini, Delle Fortificazioni libri cinque, Venice (1597). On page 161 the realization of Cosmopoli; Right: Francesco De Marchi, " Della architettura militare", (1599) [De Marchi, 1599] and Pietro Cattaneo, " I quattro primi libri di architettura", Venice (1554): shooting angles of a square fortress with "arrow- shaped spurs"[Cattaneo, 1544].

The remaining part of the island remains under the Appiano family, Lords of Piombino, allies of the Aragonese. The Cosmoli project is by Giovanni Camerini but sees the participation of the best Medici architects such as Serbelloni, Buontalenti, Belluzzi, Lorini and Puccini. The last three, in addition to the carrying out of important works of military architecture, provide an important contribution on the realization of military architecture with the drafting of some treatises, in particular: Giovan Battista Belluzzi, with the manuscript *Trattato dele Fortificationi di Terra*, 1544 [Belluzzi 1544]; Bonaiuto Lorini with "Of the fortifications, five books", Venice 1597 [Lorini 1597]; Bernardo Puccini edits the "Treatise on an instrument for removing the plant and measuring heights" in 1570-1571 [Puccini 1720] (Fig.04). The presence of Puccini and Lorini is important to indicate the cultural / architectural movement that spreads through Elba over time. In fact, the modernization of the fortress of Marciana in 1560 is contemporary with the construction of Falcone and Stella Forts in Cosmopoli, which began a decade earlier. On the island the borders are more administrative than real and the movement of people and workers between Cosmopoli and other locations does not present real physical obstacles. In Marciana the Appiano settle their residence on the island, restore and strengthen the Pisan fortress (built in the 12th century) with "lightning bolt bastions" placed at the corners of a quadrilateral, as reported by the registers of the time: "in all the places where people work for the fortresses that are built, all women should go all without difference to bring water and stones and everything they need "(Marciana Historical Archive, 1560).
Given the ease with which information and ideas circulated on the island and in absence of reliable documentary sources that can testify to the authorship of transformations of existing buildings, it can be assumed that the architects or master builders who carried out the modifications and enhancements drew information directly in Cosmopoli, or that the same professional figures have moved within the island, operating both on the side of the Medici and on that of the Appiano. The spurs of the Fortress (similar to what is reported in the treatise by Lupicini, 1582) seem to have been taken as a reference also for the construction of the spurs in the Church of Saints Peter and Paul (today Church of San Niccolò) in San Piero's village, San Niccolò in the village of Poggio, for the fortification of Sant'Ilario (at that time all under the jurisdiction of Marciana) and the Church of St. Giacomo and Quirico in Rio.

Knowledge operations: the survey [4]

In a process aimed at the protection and valorization of cultural heritage, the survey - understood as geometric and morphological knowledge, including information relating to the characteristics of the materials and construction techniques used - remains an essential step. The Fortress, both in terms of size and shape, required the use of multiple data acquisition techniques, subsequently processed in a single digital environment to obtain a discreet model of high metric and material quality. The TLS survey campaign [5] was carried out on several occasions due to the inaccessibility of some premises: in a first phase the external and inter-

nal borders were acquired; subsequently the covered areas (north and west bastions) were surveyed. The alignment of the single scans took place in automatic mode thanks to the use of spherical and checkerboard targets; data-groups of the two surveys days were joined manually by identifying homologous points [6] (Fig. 05).

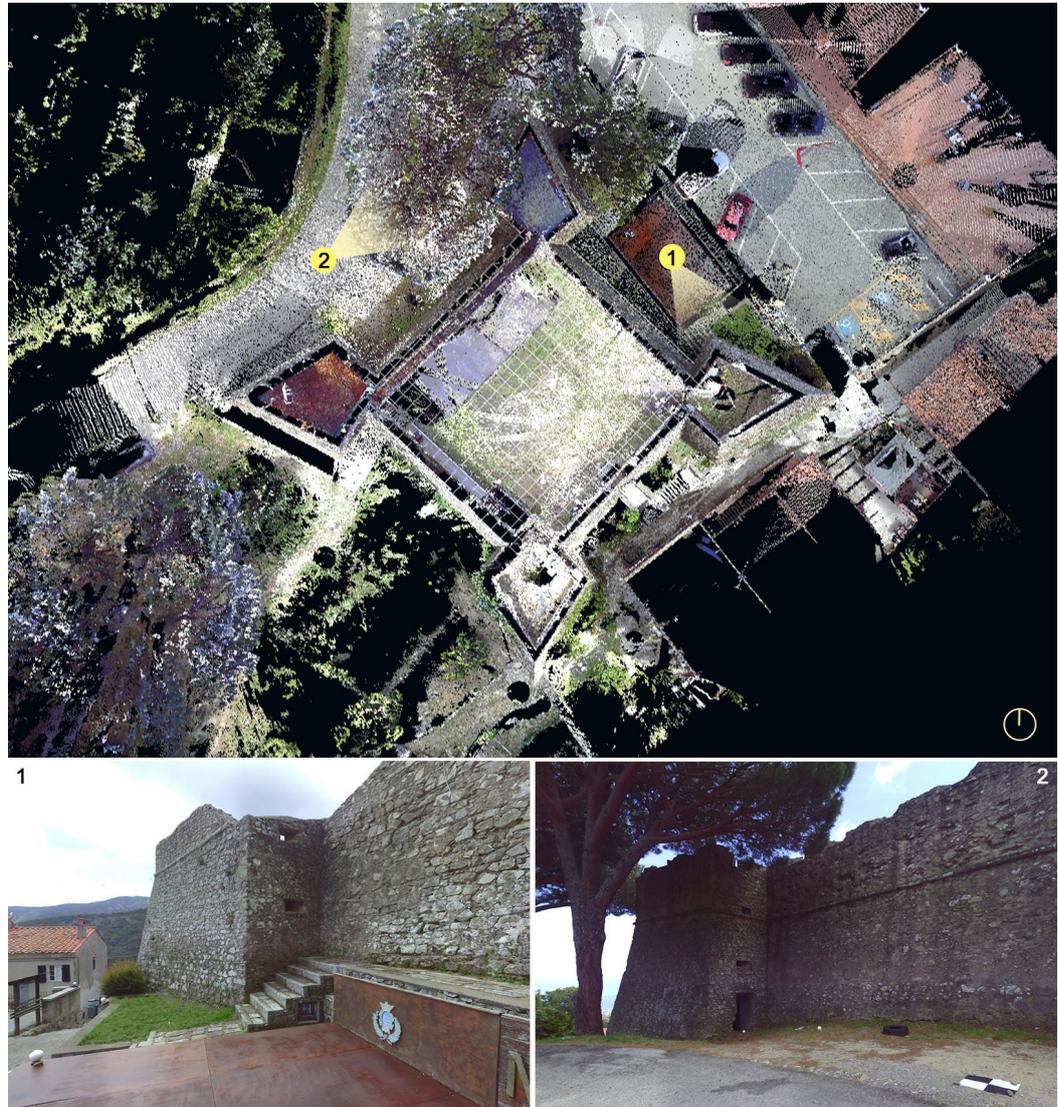



Fig. 05. Top view of pont cloud numerical model from laser scanner survey; 1-2. views from the grip points where spherical and two-dimensional targets can be identified (image and pictures by the authors).

The fortress is inserted in a particularly difficult territorial context, with impracticable sections and characterized by steep slopes that have determined the large changes in altitude between the north-west and south-east bastions. To compensate for the lack of information and also to obtain the top geometry of the structures, terrestrial acquisitions were integrated and enriched with aerial images from UAV systems, captured with a sensor facing both nadiral and 45° directions. The coordinates of the two-dimensional targets acquired with TLS were fundamental to scale the photogrammetric model and allow an accurate and automatic superimposition between the structured point cloud (laser scanner) and the unstructured one (image based) (Fig. 06). An integration of the 3D laser scanning data with the photogrammetric models has returned the surface cast of the property, inserted in its natural context [Rodriguez Navarro 2012, Bolognesi et al. 2014, Federman et al. 2017]. Starting from this overall numerical model it was possible to build a mathematical model in the HBIM en-

vironment (see next paragraph) which, as a heterogeneous database, also took into account the state of conservation / decay and information related to the documentary apparatus. For an HBIM model, as an ideal representation of a highly historicized actual state, the integrated TLS / UAV point cloud is a fundamental tool for verifying the model itself and - by calculating the deviation - declares its accuracy.

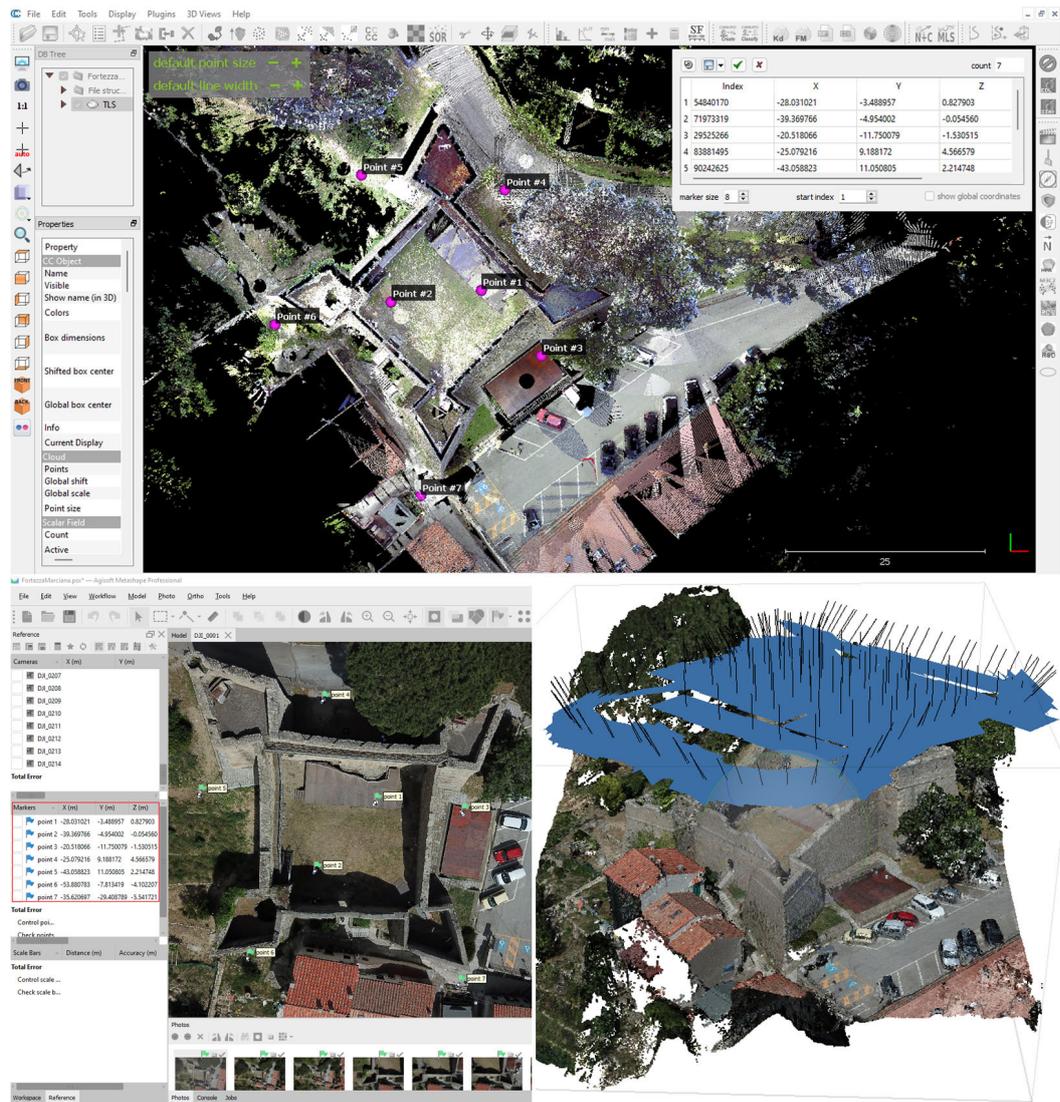



Fig. 06. Above: coordinate extraction of the two-dimensional targets (Cloud Compare); below, process of creating the "dense cloud" from photogrammetry (Agisoft Metashape Professional) scaled according to the same coordinates (images by the authors).

Workflow for an interoperable process [7]

Despite the fact that, both in professional practice and in scientific debate, the value of HBIM processes is recognized in conservation processes, there are still open areas of research that investigate their communication skills closely related to visual languages and ICT.
The followed approach takes into consideration different phases. A first phase of knowledge, in which the geometric constructs underlying the realization of the Fortress are investigated through the identification of symmetry axes and grids and through a dimensional analysis, in order to confirm what has been revealed by historical research and morphological evolution of the artefact (original structure in the shape of a regular quadrilateral of 6 x 6 Pisan surveying poles or rods equivalent to 30 x 30 Pisan "braccia" ("arms"), or approximately 17.5 x 17.5 meters).

A second phase of decomposition and recomposition of the architecture by temporal phases, in which, also thanks to the study of the aforementioned treatises, all the compositional elements commonly used in the fortresses (bastions, shoe, cordon, sentry box, loopholes) are identified, also analyzing their morphology, in order to build parametric families with stylistic and geometric recognition. In a third phase we proceed with the creation of materials (wall faces, mortars, etc.) through the definition of stratigraphic masonry units consistent with the analyzed sampling, with the documentation certifying the geomorphology of the place and the materials used in the historic buildings of Elba. Information related to the analysis of degradation, represented by geometric components, and the related necessary operations for the conservation of the asset are then defined. The model becomes a heterogeneous database and the process is effectively interoperable thanks to automatic references to graphic and alphanumeric data external to the BIM modeler, cataloged within digital platforms that do not necessarily require a three-dimensional management space (images, analysis results of the materials, historical documentation, spreadsheets, etc.). Thanks to a whole series of rapidly developing plug-ins, an open BIM approach is triggered that frees itself from the single IFC format. This two-way relationship between geometry and information facilitates the operators of the sector in cataloging and exchanging data but, above all, opens up new avenues for the dissemination of the results obtained (fig. 07).

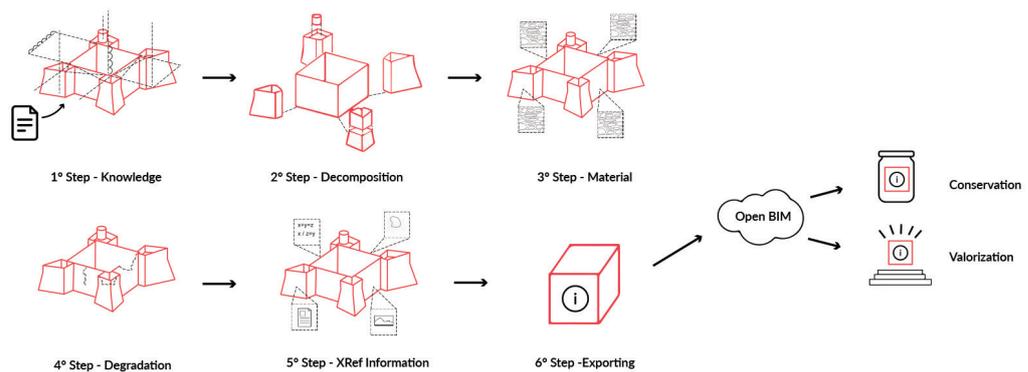



Fig. 07. Process worflow (image by the authors).

Project variations: conservation and valorization [8]

The HBIM model obtained from the modeling and information process described above has had numerous results in various fields. One of the outputs shown here collects the protection and conservation interventions of the Fortress, guaranteeing compatibility with the materials and respect for the historical and architectural values of the structures. This model is a direct design consequence of a corresponding model representative of the state in which the architectural asset is. Thanks to the degradation analysis conducted and the related transformation into a geometric entity, it was possible to obtain, in a practically automatic mode, abacuses containing quantities of wall facing subject to impoverishment or degenerative process, and the related description. To such model, reporting the current state of places, has corresponded, in a subsequent temporal phase, a similar model that associates the relative intervention to every form of degradation and obviously also provides for a whole series of maintenance and compliance actions (such as the introduction of systems for removing architectural barriers) that guarantee their usability. (Fig.08) Furthermore, a model conceived to collect information so different from each other, starting from the documentary ones linked to the history of the island and to the evolutionary phases of the Fortress, to the geometric and metric ones, up to material informations, allows the organization of an effective path of

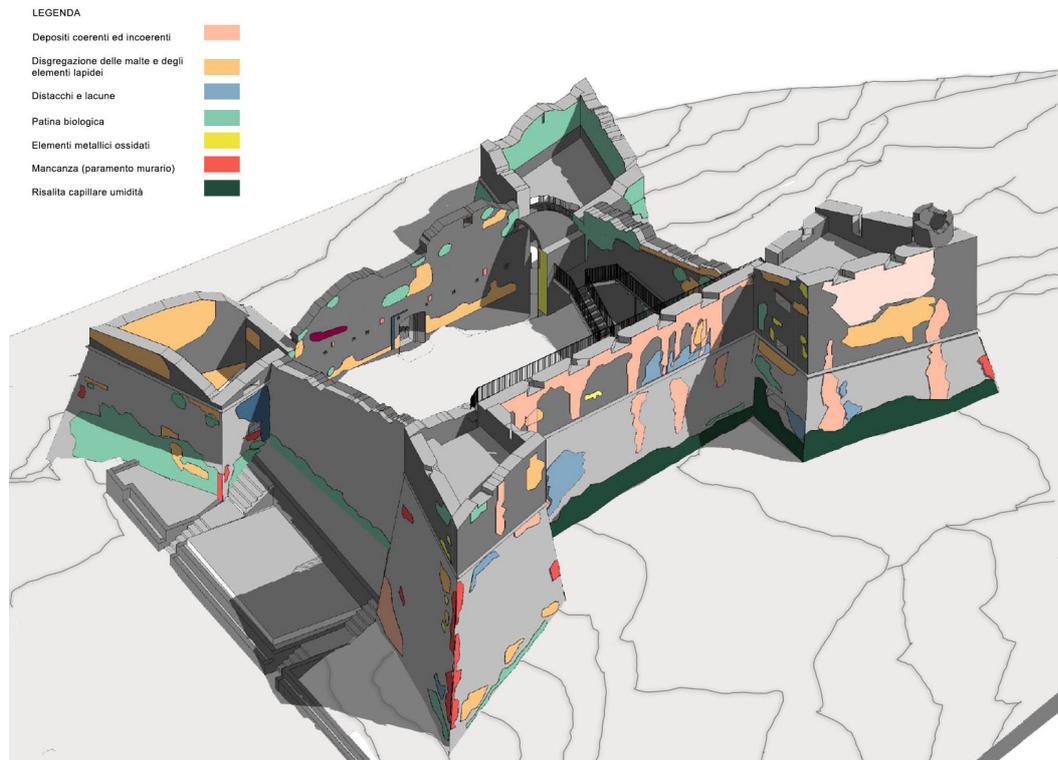



Fig. 08. Conservation interventions in HBIM model. Model was created by Marzia Monaco, Laura Gianzi and Sara D'Ippolito, as part of the 2nd level University Master degree in Heritage Building Information Modeling at Sapienza University of Rome (image by S. D'Ippolito, L. Gianzi, M. Monaco).

dissemination that leads to different directions, including Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR). Geometries - meaning both the discrete model coming from the survey and the mathematical model - with the application of the related textures, can be imported into game engine applications that allow them to be viewed in immersive mode. Using a head mount viewer, the visitor explores the different historical periods of the Fortress in first person, interacting with the various parts and obtaining information of a different nature (Fig. 09). Furthermore, the same public administrations within their own institutional and territorial promotion sites can exploit such models using graphic engines (e.g. Unity), which allows to manage architectural visualizations and 3D animations in real time.

Conclusions

In a process that includes valorization and conservation of historical buildings, the management of information and the collaboration of specialistic figures belonging to different disciplinary fields are of fundamental importance. This complexity, which already materializes in the preliminary stages of knowledge and survey of the asset, finds space in a systematization of information through an HBIM process. The model works in a collaborative and open way with other modeling and cataloging applications, implementing a virtuous process of simplified sharing of the information itself. In this way, a model / database could be declined in various areas and with various purposes, configuring itself not only as a documentation collector, but becomes in effect a tool at the service of the project, thus showing its dual informative and communicative value and becoming the basis for raising the awareness of a non-specialist public.

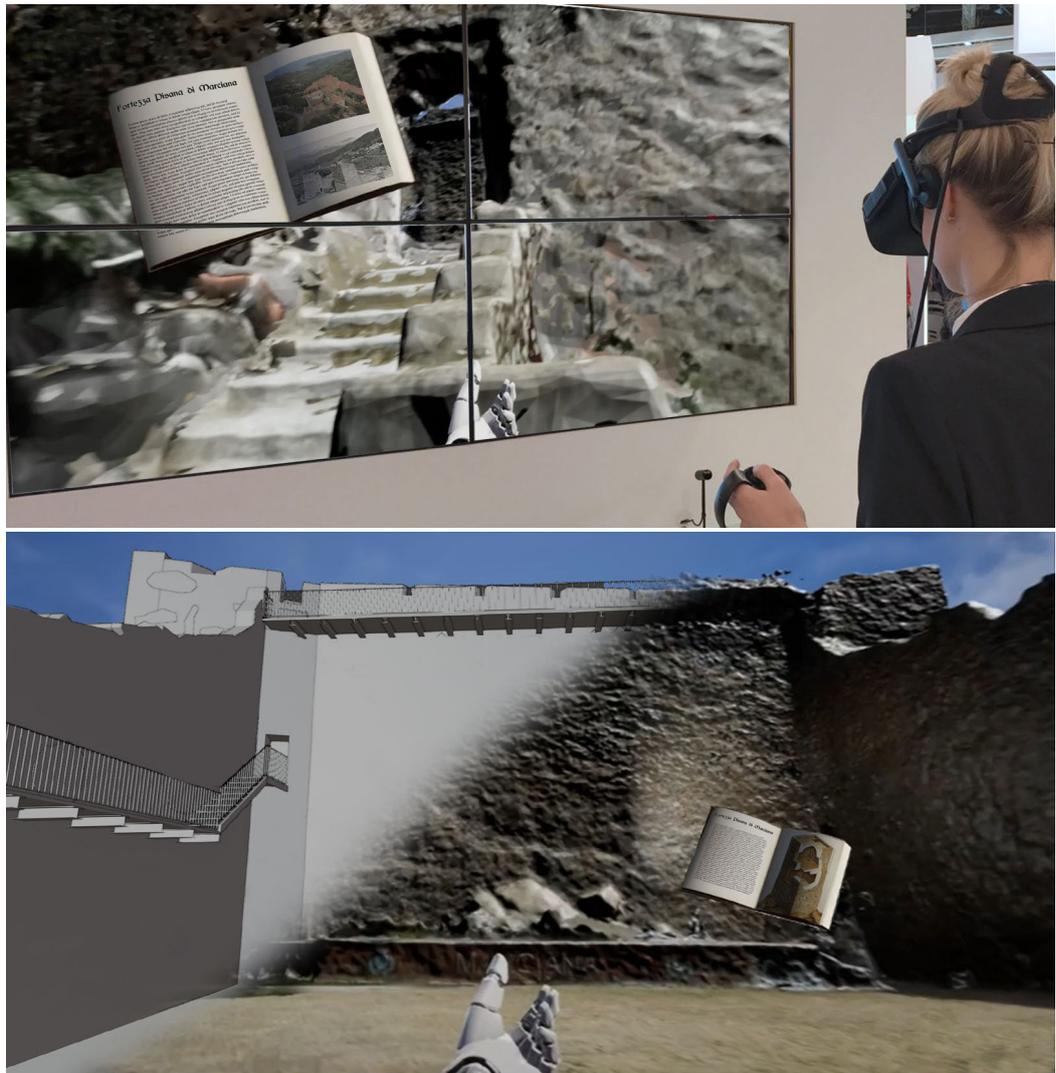



Fig. 09. Above: immersive exploration in Virtual Reality (Unrial Engine application); bottom: model navigation (mathematical and discrete) in real time (image by the authors).

Endnotes

[1] This chapter was written by Fabio Quici

[2] This chapter was written by Alexandra Fusinetti

[3] This chapter was written by Tommaso Empler

[4] This chapter was written by Maria Laura Rossi

[5] Terrestrial Laser Scanner FAROX130 supplied to CRITEVAT - Rieti Center for Research in Engineering for the Protection and Enhancement of the Environment and Territory

[6] Registration of single scans with automatic and manual process was conducted within the SCENE software.

[7] This chapter was written by Adriana Caldarone

[8] This chapter was written by Elenca D'Angelo (conservation) and Tommaso Empler (valorization)

Reference

Belluzzi, G. B. (1544). *Tratato dele Fortificationi di Terra.* Firenze: Biblioteca Riccardiana.

Bolognesi, M., et al. (2014). *Accuracy of cultural Heritage 3D models by RPAS and Terrestrial Photogrammetry*. In *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 2014, pp.113-119.

Camici, M. (2009). *L' Elba Tra Medioevo E Rinascimento. Viaggio Alla Scoperta di un'isola*. Roma: Ginevra Bentivoglio editorial.

Cattaneo, P (1554). *I quattro primi libri di architettura di Pietro Cataneo senese.* Venezia: In casa de' figliuoli di Aldo. < https://archive.org/details/iquattroprimilib00cata/page/n3/mode/2up> (consultato il 12 marzo 2022).

De Marchi, F. (1599). *Della Architettura militare del capitano Francesco de' Marchi bolognese, gentil'huomo romano, libri tre : nelli quali si descrivono li veri modi, del fortificare, che si usa a' tempi moderni ; con un breve, et utile trattato, nel quale si dimostrano li modi del fabricar l'artigliaria, et la prattica di adoperarla, da quelli che hanno carico di essa. Opera novamente data in luce*. Brescia: appresso Comino Presegni ad instanza di Gasparo dall'Oglio.

Empler, T. (2018). *ICT per il Cultural Heritage. Rappresentare, Comunicare, Divulgare*. Roma: Dei – Tipografia del Genio Civile.

Federmann, A., et al. (2017). UAV photogrammetric workflows: a best practice guideline. In *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 2017, pp.237-244.

Fiaschi, F. (2019). *Isola d'Elba. Un manoscritto del XVIII secolo*. Portoferraio: Persephone Edizioni.

Lorini, B. (1597). *Delle fortificationi libri cinque. Ne' quali si mostra con le piu facili regole la scienza con la pratica, di fortificare le città, e altri luoghi sopra diversi siti. Con tutti gli avvertimenti, che per intelligenza di tal materia possono occorrere*. Venezia: Francesco Rampazetto.

Lupicini, A. (ed. 1978). *Sull'attività mantovana di Antonio Lupicini ingegnere militare ed idraulico.* Milano: Vita e Pensiero – Pubblicazioni dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Puccini, B. (1720). *Trattato di uno strumento per levare di pianta* e *misurare le altezze*. Bologna: Per li Rossi e C. sotto le scuole alla rosa.

Rodriguez Navarro, P. (2012). Integrated survey techinques for the study and the restoration of cultural heritage: some case studies in Enna (Italy). In Gambardella C. (a cura di) *IX International Forum "Le Vie dei Mercanti": S.A.V.E. Heritage Safeguard of Architectural, Visual, Enviromental Heritage*. Napoli: La Scuola di Pitagora, 2011, pp.1-10.

SIT della provincia di Livorno. Catasto Leopoldino: <https://livorno.ldpgis.it/catasto_leopoldino/pub/index.php> (consultato il 6 marzo 2022).

Authors
Tommaso Empler, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
tommaso.empler@uniroma1.it
Fabio Quici, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
fabio.quici@uniroma1.it
Adriana Caldarone, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
adriana.caldarone@uniroma1.it
Elena D'Angelo, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
elena.dangelo@uniroma1.it
Alexandra Fusinetti, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
alexandra.fusinetti@uniroma1.it
Maria Laura Rossi. Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma
marialaura.rossi@uniroma1.it

To cite this chapter: Empler Tommaso, Quici Fabio, Caldarone Adriana, D'Angelo Elena, Fusinetti Alexandra, Rossi Maria Laura (2022). HBIM e ICT. Il BIM per la valorizzazione della Fortezza Pisana di Marciana/HBIM and ICT. BIM for valorize Pisan Fortress of Marciana. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2374-2393.

 Isbn 9788835141938